

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности
Направление подготовки 11.03.04 Электроника и микроэлектроника
Отделение электронной инженерии

Бакалаврская работа

Тема работы
Лабораторный макет по аналоговой электронике

УДК 621.382.2/.3-047.37:371.693.2

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1А41	Кустов Владислав Андреевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Баранов П.Ф.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Спицын В.В	к.т.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Анищенко Ю.В	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Иванова В.С			

Планируемые результаты обучения по ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P1	Применять базовые и специальные естественнонаучные, математические, социально-экономические и профессиональные знания в комплексной инженерной деятельности при разработке, производстве, исследовании, эксплуатации, обслуживании и ремонте современной высокоэффективной электронной техники
P2	Ставить и решать задачи комплексного инженерного анализа и синтеза с использованием базовых и специальных знаний, современных аналитических методов и моделей
P3	Выбирать и использовать на основе базовых и специальных знаний необходимое оборудование, инструменты и технологии для ведения комплексной практической инженерной деятельности с учетом экономических, экологических, социальных и иных ограничений
P4	Выполнять комплексные инженерные проекты по разработке высокоэффективной электронной техники различного назначения с применением базовых и специальных знаний, современных методов проектирования для достижения оптимальных результатов, соответствующих техническому заданию с учетом экономических, экологических, социальных и других ограничений
P5	Проводить комплексные инженерные исследования, включая поиск необходимой информации, эксперимент, анализ и интерпретацию данных с применением базовых и специальных знаний и современных методов для достижения требуемых результатов
P6	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современное высокотехнологичное оборудование в предметной сфере электронного приборостроения, обеспечивать его высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда, выполнять требования по защите окружающей среды
<i>Универсальные компетенции</i>	
P7	Использовать базовые и специальные знания в области проектного менеджмента для ведения комплексной инженерной деятельности с учетом юридических аспектов защиты интеллектуальной собственности
P8	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе, в том числе на иностранном языке, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты комплексной инженерной деятельности
P9	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена команды, проявлять навыки руководства группой исполнителей, состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, с делением ответственности и полномочий при решении комплексных инженерных задач
P10	Демонстрировать личную ответственность, приверженность и готовность следовать профессиональной этике и нормам ведения комплексной инженерной деятельности
P11	Демонстрировать знание правовых социальных, экологических и культурных аспектов комплексной инженерной деятельности, компетентность в вопросах охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности
P12	Проявлять способность к самообучению и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

Иванова В.С.

(Подпись)

(Дата)

ЗАДАНИЕ на выполнение ВКР:

Студенту гр. 1А41

Кузову В.А.

1. Тема: Лабораторный макет по аналоговой электронике.
2. Срок сдачи студентом готовой работы: 20.06.2018.
3. Назначение и область применения разработки – лабораторные работы в учреждения средне-специального и высшего профессионального образования.
4. Исходные данные к работе:
Аналоговая микросхема AD734; резисторы (11шт); конденсаторы (3шт); диод 1N4148 (1шт).
5. Содержание текстового документа:
 - 1) введение;
 - 2) обзор имеющихся на рынке лабораторных стендов;
 - 3) обзор микросхемы AD734;
 - 4) симуляция различных вариантов включения микросхемы AD734;
 - 5) финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение
 - 6) социальная ответственность;
 - 7) экологическая безопасность;
 - 8) заключение.

Руководитель: Баранов П.Ф

(подпись, дата)

Задание принял к исполнению:

Кузов В.А.

(подпись, дата)

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА

«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
1А41	Кустов Владислав Андреевич

Школа	ИШНКБ	Отделение	Электронной инженерии
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	Электроника и наноэлектроника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Финансовые ресурсы: 2000руб.; Человеческие ресурсы 2 чел.;
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Премияльный коэффициент руководителя 30%; Премияльный коэффициент студента 30%; Доплаты и надбавки руководителя 20%; Доплаты и надбавки студента 20%; Дополнительной заработной платы 12%; Накладные расходы 16%; Районный коэффициент 30%
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды 30 %

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ	- Анализ конкурентных технических решений - технология QuaD, - SWOT-анализ
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Формирование плана и графика разработки: - определение структуры работ; - разработка графика Ганта.
3. Определение финансовой, бюджетной и экономической эффективности исследования	- Определение эффективности исследования

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Анализ конкурентных технических решений
2. Морфологическая матрица
3. Технология QuaD
4. Матрица SWOT
5. График проведения НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Спицын В.В.	Кандидат наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1А41	Кустов Владислав Андреевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
1А41	Кустов Владислав Андреевич

Школа	ИШНКБ	Отделение	Электронной инженерии
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроника и наноэлектроника

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования является лабораторный стенд по аналоговой электронике. Объект исследования может быть использован для проведения лабораторных работ по электронике.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Производственная безопасность 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности: 1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:	Анализ вредных факторов, которые в свою очередь могут оказать негативное воздействие на человека. К ним относятся: <ul style="list-style-type: none"> • монотонность труда. • недостаточная освещенность рабочей зоны. А также при эксплуатации лабораторного стенда возможно воздействие на человека опасных производственных факторов: <ul style="list-style-type: none"> • электрический ток.
2. Экологическая безопасность:	Минимальное воздействие на гидросферу и атмосферу. Остатки после обработки материалов оказывают небольшое влияние на литосферу. При пайке выделяются вредные вещества в атмосферу.
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	В лабораторном помещении возможно возникновении ЧС типа: <ul style="list-style-type: none"> • пожар.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Анищенко Юлия Владимировна	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1А41	Кустов Владислав Андреевич		

Реферат

Выпускная квалификационная работа 62 страниц, 29 рисунков, 12 таблиц.

Ключевые слова: лабораторный стенд, микросхема AD734, стенд по аналоговой электронике.

Объектом данной разработки и исследования являлось устройство, представляющее собой лабораторный стенд по аналоговой электронике на основе четырехквadrантного перемножителя AD734.

В процессе работы проводилось: изучение литературы по данной теме, обзор существующих аналогов разработки, их преимущества и недостатки.

В результате работы был: проведен анализ лабораторных стендов по аналоговой электронике с учетом их конструктивных особенностей; обзор микросхемы AD734 и составлен на её основе собственный проект лабораторного стенда.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: напряжение питания $\pm 15\text{В}$, массогабаритные параметры не регламентируются.

Область применения: лабораторные работы в учреждениях средне-специального и высшего профессионального образования.

Значимость работы: экономичная замена дорогостоящих зарубежных и отечественных лабораторных стендов, обновление существующих лабораторных стендов.

Содержание

Реферат	6
Введение	9
1. Обзор современных лабораторных стендов по электронике	10
1.1. Лабораторный стенд ЭЦОЭ1-Н-Р	10
1.2 Лабораторный стенд LESO3	11
1.3 Лабораторный стенд НТЦ-01.01.Б	12
1.4 Лабораторный стенд Nvis 6000	14
1.5 Лабораторный стенд NI Elvis II	15
1.5.1 Комплект для изучения «Теоретических основ электротехники»	16
1.5.2 Комплект для изучения «Операционных усилителей»	17
1.5.3 Комплект для изучения «Силовой электроники»	18
1.5.4 Комплект для изучения «Преобразования энергии»	19
1.5.5 Комплект для изучения «Приводов в мехатронике»	20
1.5.6 Комплект для изучения «Датчиков в мехатронике»	21
2. Разработка лабораторного макета по аналоговой электронике на основе микросхемы AD734	24
2.1 Обзор микросхемы AD734	24
2.2 Варианты включения микросхемы AD734	25
2.2.1 Стандартный перемножитель	25
2.2.2 Возведение в квадрат и удвоение частоты	27
2.2.3 Делитель с обратной связью	29
2.2.4 Извлечение квадратного корня	30
2.3. Примеры расчета и анализа функциональных преобразований на основе микросхемы AD734.	31
2.4 Разводка печатной платы в PCad	36
3. Проверка работоспособности схем путем симуляции в Multisim	38
3.1 Симуляция схемы удвоения частоты и возведения в квадрат	38
3.2 Симуляция схемы стандартного перемножителя	39
3.3 Симуляция схемы извлечения квадратного корня.	40

4. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	43
4.1 Анализ конкурентных технических решений	43
4.2 Технология QuaD	45
4.3 SWOT – анализ	47
4.4 Разработка графика проведения научного исследования	50
5 Социальная ответственность	54
5.1 Производственная безопасность	54
5.2 Анализ выявленных вредных факторов	55
5.2.1 Монотонность труда	55
5.2.2 Недостаточная освещенность	55
5.3 Анализ выявленных опасных факторов	56
5.3.1 Поражение электрическим током	56
5.3.2 Термическая опасность	57
6 Экологическая безопасность	58
6.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду	58
6.2 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	59
6.3 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	61
6.3.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства	61
6.4 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	61
Заключение	63

Введение

Дисциплина «Электроника» в разных модификациях своего названия всегда была и продолжает оставаться одной из сложных для понимания студентов дисциплин многих направлений и специальностей технических университетов, несмотря на наличие большого числа как отечественных, так и зарубежных учебников, и учебных пособий.

С одной стороны, проблема трудной усвояемости материала дисциплины обусловлена субъективными причинами обучающего контингента студентов – визуалистов, старающихся получать готовый материал в интернете как в школе, так и при вузовском обучении.

С другой стороны, доступные литературные источники или ограничиваются только качественными описаниями разделов дисциплины, или математизированы слабо доступными для понимания студентов выкладками из-за отсутствия у них знаний, пониманий и умений предыдущих материалов дисциплин пререквизитов.

При этом образовательные профессиональные программы подготовки выпускников по направлениям и специальностям, в учебных планах которых присутствует дисциплина «Электроника» в разных модификациях, резко снизили аудиторные часы лабораторного цикла.

В этой связи необходимо предусмотреть ряд мероприятий, ведущих к активизации познавательной деятельности студентов, формированию их положительной мотивации на самообразование.

В настоящей работе создается лабораторный макет по аналоговой электронике на основе микросхемы функционального перемножителя AD734.

1. Обзор современных лабораторных стендов по электронике

Существует довольно больше количество различных лабораторных стендов по электронике, как цифровой, так и аналоговой. Они отличаются своей функциональностью, стоимостью, комплектацией, вариативностью в количестве используемых лабораторных работ и ценой. Далее мы посмотрим некоторые из них.

1.1 Лабораторный стенд ЭЦОЭ1-Н-Р

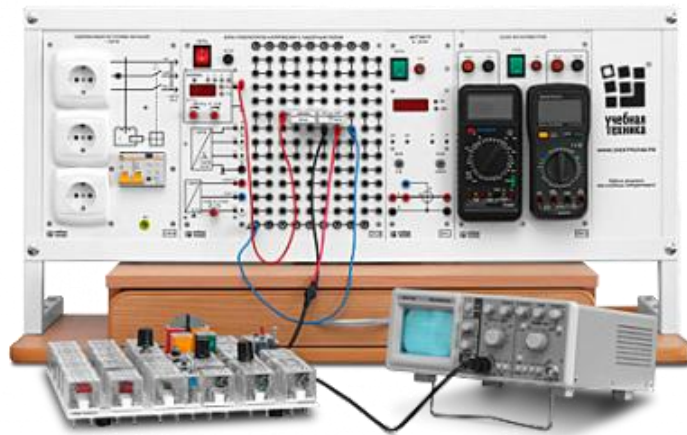


Рисунок 1 – Лабораторный стенд ЭЦОЭ1-Н-Р

Типовой комплект поставки учебного лабораторного стенда включает в себя следующие функциональные блоки и компоненты:

- блок генераторов напряжений с наборным полем – 1 шт;
- однофазный источник питания – 1 шт;
- блок мультиметров (2 мультиметра) – 1 шт;
- ваттметр – 1 шт;
- набор миниблоков «Электрические и электронные компоненты» – 1 шт;
- рама настольная одноуровневая с контейнером (длина 910 мм) – 1 шт;
- набор аксессуаров для комплекта ЭЦОЭ1-Н-Р – 1 шт;
- осциллограф одноканальный – 1 шт;

- табличка информационная с подсветкой "Электрические цепи и основы электроники" ЭЦОЭ1-Н-Р – 1 шт.

Достоинства:

- большая вариативность при построении схем;
- наличие измерительной аппаратуры.

Недостатки:

- высокая стоимость комплекта;
- большие массогабаритные параметры.

1.2 Лабораторный стенд LESO3



Рисунок 2 – Лабораторный стенд LESO3

Лабораторный стенд по электронике LESO3 разработан для исследования характеристик и параметров полупроводниковых приборов (диодов, биполярных и полевых транзисторов, и так далее).

Стенд конструктивно выполнен на одной двухсторонней печатной плате, с одной ее стороны располагается электрическая схема стенда, а с другой — клеммы для сборки схемы исследования образца. За основу стенда взят микроконвертер ADuC842 фирмы Analog Devices, однокристальная система с ядром MCS-52, имеющая в своем составе 12-разрядный восьмиканальный АЦП и два ЦАП. АЦП используются в качестве вольтметров и миллиамперметров, а ЦАП выступает как источник

регулируемого напряжения. Особые алгоритмы цифровой обработки результатов измерений и схемотехнические решения позволяют повысить точность измерения до 14 эффективных разрядов, причем при сохранении приемлемого быстродействия.

Для подавляющего большинства схем исследования полупроводниковых диодов, биполярных и полевых транзисторов достаточно двух управляемых источников напряжения с диапазоном регулирования $\pm 10\text{В}$, двух вольтметров с диапазоном измерения $\pm 10\text{В}$ и двух миллиамперметров с диапазоном $\pm 10\text{мА}$. Для измерения обратных токов диодов, кроме всего перечисленного, необходим микроамперметр. Входной интерфейс измерительной системы выполнен на базе инструментальных усилителей.

Достоинства:

- Малые размеры, высокая мобильность.
- Нет необходимости в другом измерительном оборудовании.
- Законченность самой схемы.

Недостатки:

- Низкая вариативность схемы.
- Низкая стоимость.

1.3 Лабораторный стенд НТЦ-01.01.Б



Рисунок 3 – Лабораторный стенд НТЦ-01.01.Б

Базис-стенд содержит многократно используемые в лабораторных работах устройства (модули): вводное устройство, регулируемые и нерегулируемые источники питания, блок измерений и индикации, блок нагрузок и прочие устройства, а также рабочее поле для подключения сменных панелей.

Сменные панели имеют стандартный размер формата А4. На лицевой поверхности панели нанесено изображение электрической схемы (лабораторной работы) и расположены коммутационные гнезда, часть электрических компонентов и органов управления, влияющих на результаты исследования.

Нижняя часть сменной панели выполнена в виде печатной платы с разъемами для подключения к базис-стенду и предназначена для коммутации всех необходимых элементов стенда при выполнении лабораторной работы.

Базис-стенд может комплектоваться различными наборами сменных панелей, что позволяет конфигурировать его под конкретный тематический план учебного заведения, а также в последующем приобретать дополнительные необходимые модули и сменные панели при изменении перечня лабораторных работ.

Как правило, на одной панели выполняется несколько лабораторных работ. Схемы собираются стандартными жесткими коммутационными перемычками с шагом 15 мм. Гнезда на схемах расположены так, чтобы, по возможности, исключить выход устройства из строя от ошибочных действий обучающихся.

Достоинства:

- большая вариативность доступных для выполнения лабораторных работ;
- наличие измерительных приборов;
- модульность системы, что позволяет быстро заменять вышедшие из строя компоненты.

Недостатки:

- высокая стоимость комплекта (около 500 тыс. рублей);

- высокие массогабаритные параметры.

1.4 Лабораторный стенд Nvis 6000



Рисунок 4 – Лабораторный стенд Nvis 6000

Комплект лабораторного оборудования для изучения основ «Теоретических основ электротехники», исследования транзисторов, диодов, простейших схем.

В состав комплекта входят:

- резисторы;
- конденсаторы;
- транзисторы;
- диоды;
- переменные резисторы;
- набор индуктивностей;
- мультиметр.

Достоинства:

- компактность;
- простота использования;
- наличие всех необходимых для выполнения работ компонентов.

Недостатки:

- невозможность самостоятельного построения необходимых электрических схем.

1.5. Лабораторный стенд NI Elvis II

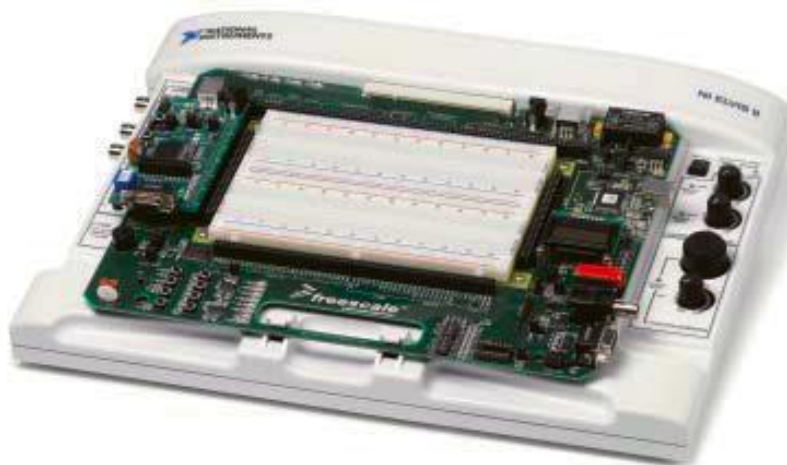


Рисунок 5 – Лабораторный стенд NI Elvis II

Образовательная платформа для проектирования и создания прототипов NI ELVIS выполнена на базе среды графической разработки NI LabVIEW.

Платформа NI ELVIS II полностью настраивается в LabVIEW, где для каждого из 12 приборов существуют свои Express VI. Конфигурирование производится при помощи всего лишь нескольких щелчков мыши, что значительно упрощает настройку отдельных приборов. Вы также можете использовать NI ELVIS II с LabVIEW SignalExpress для обеспечения возможности проведения сравнения данных моделирования в Multisim с реальными значениями, полученными в NI ELVIS, и создания интерактивных отчетов по заданиям на занятии.

NI ELVIS II имеет открытую архитектуру, что в значительной степени упрощает её использование ведущими поставщиками средств обучения.

Достоинства:

- малые размеры;

- большая вариативность в выполнении лабораторных работ за счет модульности и совместимости с сторонними производителями оборудования;
- совместимость Multisim и возможность подключения к ПК;
- наличие необходимых измерительных приборов (мультиметр; осциллограф);
- относительно низкая цена (порядка \$2000).

Недостатки:

- дополнительные платы не идут в комплекте, их необходимо докупать.

Плата ELVIS II является базой для выполнения множества других работ с помощью съемных плат. Рассмотрим некоторые из них.

1.5.1 Комплект для изучения «Теоретических основ электротехники»

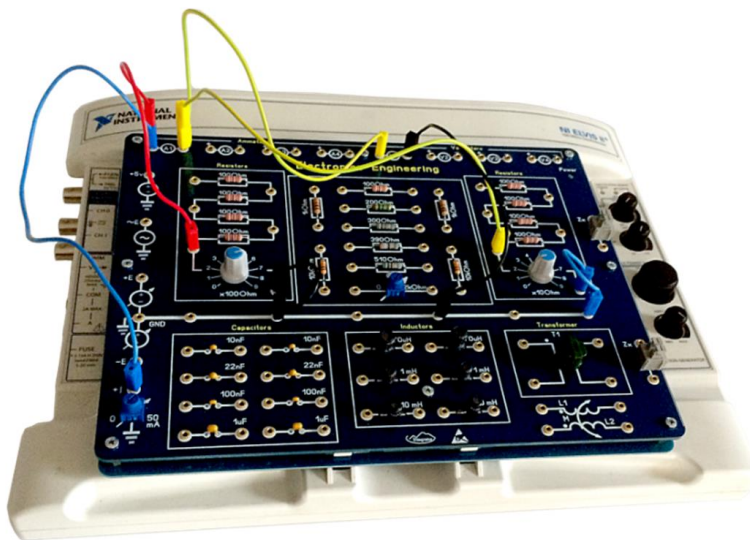


Рисунок 6 – Плата для изучения «Теоретических основ электротехники»

На плате располагаются:

- 4 амперметра и 4 вольтметра;
- источники питания (нерегулируемый источник напряжения ± 5 В; источник переменного напряжения с изменяемой частотой от 1 Гц до 20 кГц, амплитудой напряжения от 0 до 10 В и изменяемой формой сигнала

(синусоидальная, прямоугольная, пилообразная); регулируемые источники напряжения +10 В и -10 В; регулируемый источник тока от 0 до 50 мА);

- наборы последовательно соединенных и независимых резисторов;
- индикатор питания;
- шина заземления;
- контакты для присоединения внешних навесных компонентов;
- конденсаторы;
- независимые и последовательно присоединенные индуктивности;
- трансформатор.

1.5.2 Комплект для изучения «Операционных усилителей»

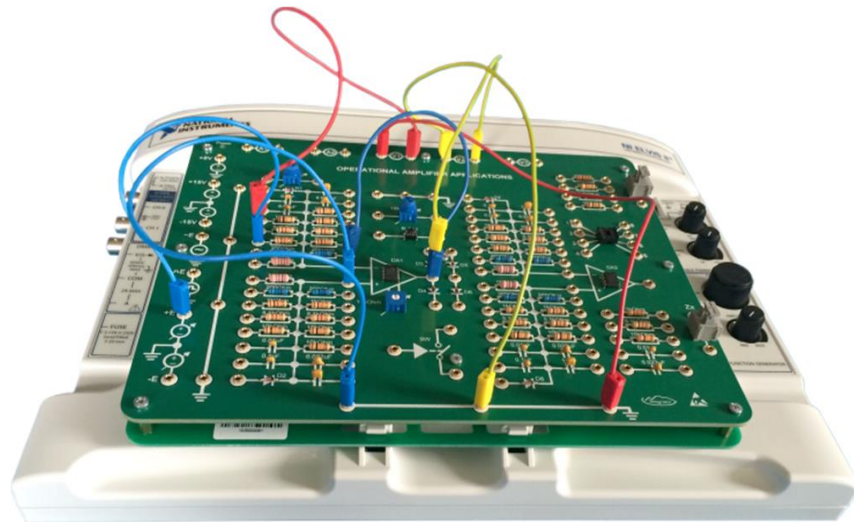


Рисунок 7 – Плата для изучения «Операционных усилителей».

На плате располагаются:

- индикатор питания;
- 2 амперметра и 3 вольтметра;
- источники питания (нерегулируемые источники постоянного напряжения +5В, +15В, -15В; регулируемые источники постоянного напряжения ± 12 В; источник переменного сигнала от 0 до 5В, частотой сигнала при генерации синусоиды от 0,2Гц до 5МГц, при

генерации прямоугольного или пилообразного сигнала от 0,2Гц до 1МГц; источник пульсирующего сигнала);

- шина заземления;
- пассивные компоненты, соединенные с входом операционного усилителя DA1: диоды, постоянные резисторы, конденсаторы;
- диоды, соединенные с выходом операционного усилителя DA1;
- независимые компоненты, которые могут быть подключены к любой схеме: диоды, постоянные и переменные резисторы, конденсаторы, кнопки, аналоговые ключи, 8-pin разъемы и терминалы Zx для подключения внешних компонентов;
- пассивные компоненты, подключенные на вход операционного усилителя DA2.

1.5.3 Комплект для изучения «Силовой электроники»

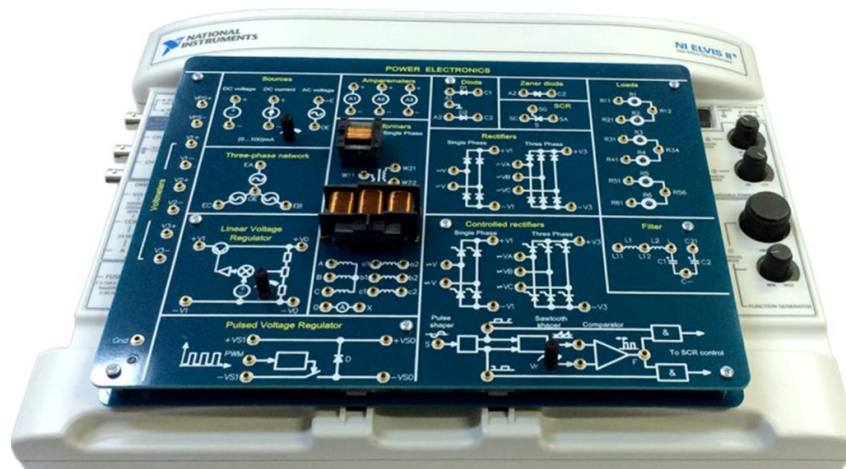


Рисунок 8 – Плата для изучения «силовой электроники»

На плате располагаются:

- 3 вольтметра, шина заземления;
- источники постоянного и переменного напряжения и тока;
- источник трехфазного напряжения;
- однофазный и трехфазный трансформатор;
- 3 амперметра;
- однофазные и трехфазные диодные делители;

- диоды;
- стабилитроны;
- резисторы;
- управляемые делители;
- емкости и индуктивности.

1.5.4 Комплект для изучения «Преобразования энергии»

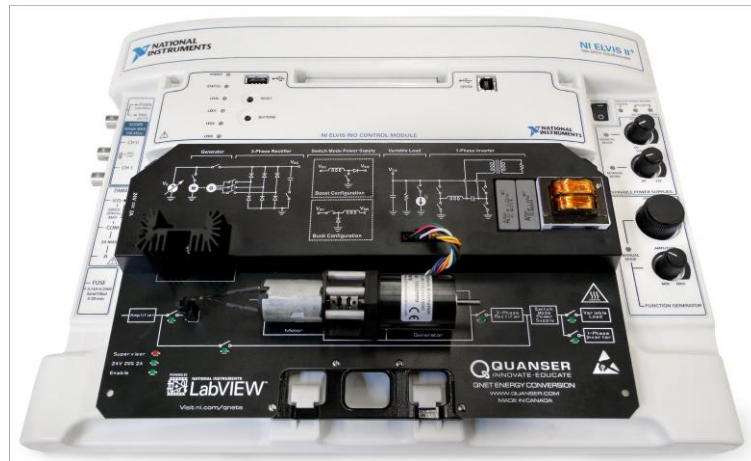


Рисунок 9 – Плата для изучения «Преобразования энергии»

На плате располагаются:

- усилитель мощности;
- механический узел двигателя (трехфазный генератор);
- выпрямитель;
- импульсный преобразователь с возможностью работы в повышающем и понижающем режиме;
- инвертер и трансформатор;
- нагрузка.

1.5.5 Комплект для изучения «Приводов в мехатронике»



Рисунок 10 – Плата для изучения «приводов в мехатронике»

На плате располагаются:

- компактная мехатронная система привода;
- 6В соленоид, который может использоваться для подключения пары моторов;
- два 24-вольтных двигателя с прямым приводом;
- бесщеточный двигатель постоянного тока;
- пятивольтный униполярный шаговый двигатель;
- сервомотор;
- отдельные фотомикросенсоры, подключенные к каждому мотору;
- усилитель широтно-импульсной модуляции;
- линейный усилитель.

1.5.6 Комплект для изучения «Датчиков в мехатронике»



Рисунок 11 – Плата для изучения «Датчиков в мехатронике»

На плате располагаются:

- индикаторы источников питания;
- индикаторы датчиков;
- шприц с замком Люера;
- датчик магнитного поля;
- светоотражающий оптический датчик;
- пьезочувствительный датчик;
- манометр;
- термистор;
- ультразвуковой датчик расстояния;
- переключатель мгновенного действия;
- потенциометр;
- инфракрасный датчик расстояния;
- датчик давления.

Далее будет представлена сводная таблица сравнения стендов по некоторым параметрам.

Таблица 1 – Сравнения стендов по основным характеристикам

Название лабораторного стенда	Количество доступных для выполнения работ	Цена, р	Габаритные размеры, ш×г×в, мм
ЭЦОЭ1-Н-Р	25	149600	910×510×400
LESO3	7	13050	250×150×50
НТЦ-01.01.Б	30	523250	1310×600×1470
NI Elvis II		162265	343×280×76
Electronics Engineering Board for NI ELVIS II	22	39593	
Operational Amplifiers Board for NI ELVIS II	17	46202	
Power Electronics Fundamentals Board for NI ELVIS II	19	56085	
Quanser QNET for Energy Conversion	10	132184	
Mechatronic Actuators Board for NI ELVIS II	6	128354	
Mechatronics Sensors 2.0 for NI ELVIS II	12	132122	
Nvis 6000	20	11477	345×245×105

По данным таблицы видно, что стенды «ЭЦОЭ1-Н-Р» и «НТЦ-01.01.Б» обладают весьма большими габаритами, кроме того стенд «НТЦ-01.01.Б» имеет еще и самую высокую стоимость, среди представленных. Стенд на основе «NI Elvis II» имеет довольно малые размеры, по сравнению с другими вариантами, кроме того его стоимость сопоставима со стоимостью других, представленных в таблице стендов. Кроме того, возможность замены плат

многократно увеличивает количество доступных для выполнения лабораторных работ.

Для расширения возможностей стендов на основе «NI Elvis II» далее описывается разработка лабораторного макета по аналоговой электронике на основе микросхемы функционального перемножителя AD734.

Микросхема AD734 широко используется для выполнения операций умножения, возведения в квадрат, деления, извлечения квадратного корня. При подключении дополнительного фильтра нижних частот она выступает как преобразователь среднеквадратического значения входного гармонического сигнала.

2. Разработка лабораторного макета по аналоговой электронике на основе микросхемы AD734.

2.1 Обзор микросхемы AD734.

Рассмотрим аналоговую микросхему AD734 и некоторые возможные варианты её применения. Это высокоточная(погрешность не выше 0.1%), высокоскоростная(10МГц, 450 В/мкс), малоискажающая(-80дБ искажения на выходе), с низким уровнем постороннего шума. Входы с низкой емкостью X, Y и Z полностью дифференцированы. Ниже будет приведена цоколевка и несколько вариантов применения.

Цоколевка микросхемы AD734

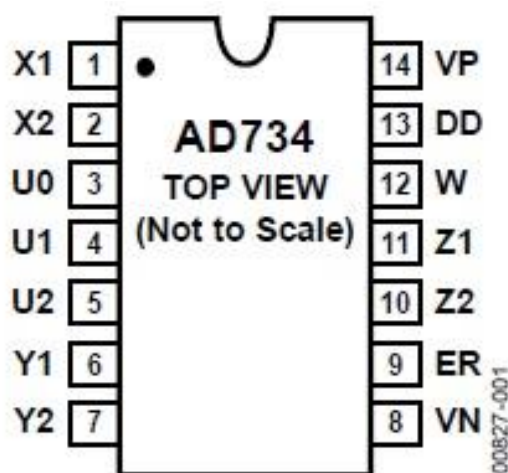


Рисунок 12 – Цоколевка микросхемы AD734

Таблица 2 – Цоколевка микросхемы AD734

1	X1	Дифференциальный вход перемножителя X
2	X2	Дифференциальный вход перемножителя X
3	U0	Включение делителя источника напряжения
4	U1	Делитель
5	U2	Делитель
6	Y1	Дифференциальный вход перемножителя Y
7	Y2	Дифференциальный вход перемножителя Y
8	VN	Отрицательный вход
9	ER	Опорное напряжение

10	Z2	Дифференциальный вход сумматора Z
11	Z1	Дифференциальный вход сумматора Z
12	W	Выход
13	DD	Выключение делителя
14	VP	Положительный вход

2.2 Варианты включения микросхемы AD734

2.2.1 Стандартный перемножитель

На схеме включения, представленной ниже, показано включение микросхемы AD734 в качестве перемножителя

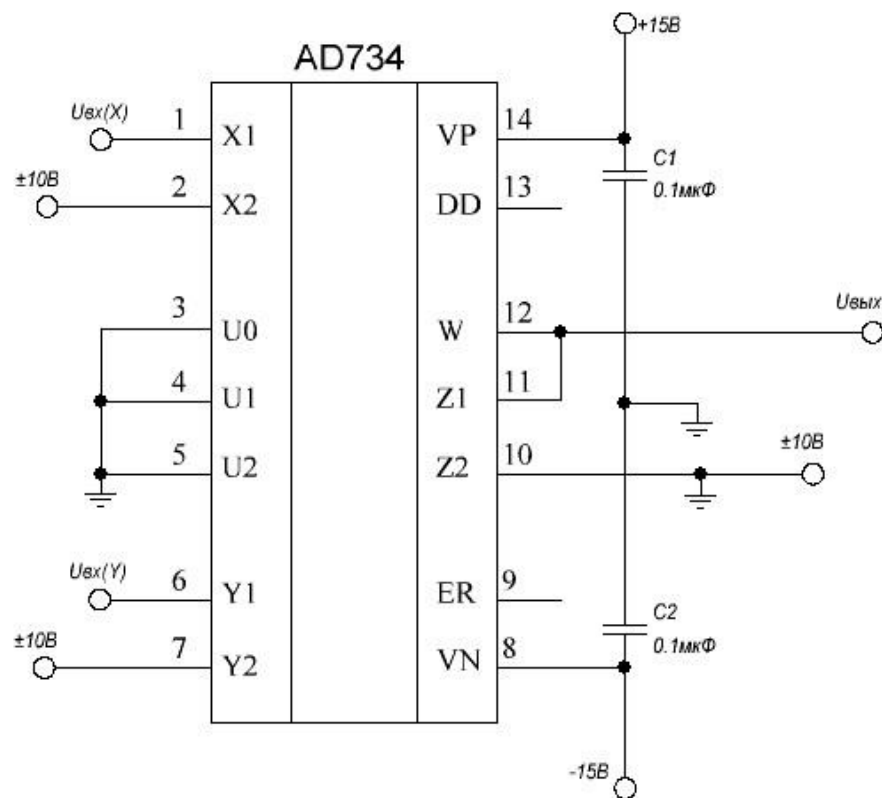


Рисунок 13 – Включение AD734 в качестве перемножителя

Если необходим точный контроль частоты или, когда частота ниже 100кГц, ко входу подключается внешний резистор.

Как минимум один из входов должен быть подключен по постоянному току (или заземлен).

Когда необходима высокая точность измерения, ошибка измерения, обусловленная конечным сопротивлением источника сигнала может стать проблемой, например, 50 Ом сопротивления источника, подающего сигнал только на 1 вход дают погрешность $\pm 0.1\%$.

Если сопротивление источника известно, ошибка может быть компенсирована подключением сопротивления между W и Z1.

Клеммы ER и DD следуют оставить неподключенными.

Клеммы U0, U1, U2 можно заземлить или подключить к клемме VN, по желанию.

Клемма X2 используется для работы с высокочастотным сигналом большой амплитуда, поэтому емкостная связь между ней и клеммой U0 может вызывать сильные частотные искажения.

Порядок исследования схемы.

2.1.1.1. Собрать схему, как показано на Рис.13.

2.1.1.2. Подать на входы X1, Y1 и Z2 напряжение 1В, частотой 1кГц.

2.1.1.3. Снять выходное напряжение.

2.1.1.4. Рассчитать теоретическое значение $U_{\text{вых}}$ по формуле

$$W = \frac{(X_1 - X_2)(Y_1 - Y_2)}{10} + Z_2 \quad (1)$$

2.1.1.5. Сравните теоретическое и фактическое значение выходного напряжения, рассчитать абсолютную и относительную погрешности.

2.1.1.6. Повторить пункты 2-5 для $U_{\text{вх}}=3, 6, 9$ В, $f=10, 50, 100$ кГц соответственно.

2.2.2 Возведение в квадрат и удвоение частоты

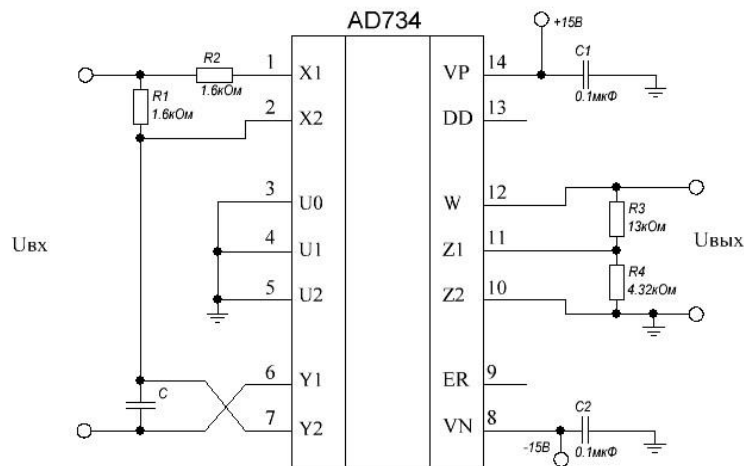


Рисунок 14 – Включение микросхемы AD734 для возведения в квадрат и удвоения частоты

Возведение в квадрат достигается параллельным подключением входов X и Y. Фаза может быть выбрана для создания положительного или отрицательного сигнала. Входные сигналы могут быть любой полярности, но выходной сигнал всегда определенной полярности. При перемножении может использоваться вход Z2, чтобы добавить сигнал к выходному.

При перемножении синусоидальных сигналов имеет место удвоение частоты, т.к.

$$(E \sin \omega t)^2 = E^2 (1 - \cos 2\omega t)/2 \quad (2)$$

Выражение (2) говорит о наличии постоянной составляющей на выходе, которая сильно зависит от амплитуды входа. Этой постоянной составляющей можно избежать, используя RC-цепь на входе. Тогда на выходе будет:

$$W = 4 \left\{ \frac{E}{\sqrt{2}} \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{4} \right) \right\} \left\{ \frac{E}{\sqrt{2}} \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{4} \right) \right\} \left(\frac{1}{10B} \right), \quad (3)$$

когда

$$\omega = 1/CR_1 \quad (4)$$

$$W = E^2 (\cos 2\omega t) / (10B) \quad (5)$$

тогда на выходе нет постоянной составляющей.

Чтобы восстановить выходной сигнал до $\pm 10B$, когда $E = 10B$, используется обратная связь между W и Z1 с отношением 4.

Значения резисторов R3 и R4 включают дополнительную компенсацию входного сопротивления 50кОм для всех трех интерфейсов. R2 подключен по той же причине. Эти значения резисторов не следует изменять без тщательного расчета последствий.

Порядок исследования схемы.

2.2.2.1. Собрать схему, как показано на Рис. 14.

2.2.2.2. Рассчитать значение конденсатора С по формуле

$$w = \frac{1}{cR_1} \quad (6)$$

2.2.2.3. Подать на входы X1, Y1 напряжение 1В, частотой 1кГц.

2.2.2.4. Снять выходное напряжение.

2.2.2.5. Рассчитать теоретическое значение Uвых по формуле

$$W = \frac{E^2(\cos 2wt)}{10} \quad (7)$$

2.2.2.6. Сравните теоретическое и фактическое значение выходного напряжения и частоты рассчитать абсолютную и относительную погрешности.

2.2.2.7. Повторить пункты 2-5 для $U_{вх}=2, 2.5, 3$ В, $f=5, 10, 20$ кГц соответственно

2.2.3 Делитель с обратной связью

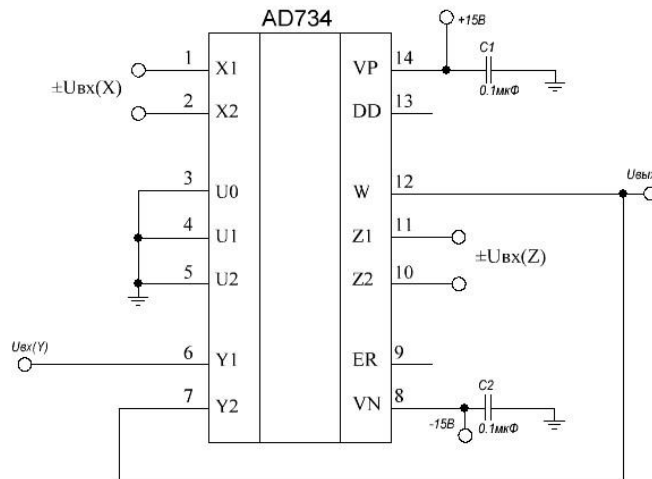


Рисунок 15 – Включение микросхемы AD734 в качестве делителя

Обратная связь с выхода идет ко входу Y1(инвертирующему), если вход X положительный.

Y1 обычно должен быть подключен к земле, связанной с цепью нагрузки, но может быть дополнительно использован для суммирования дополнительного сигнала на выходе.

При желании полярность входных разъемов Y может быть изменена на обратную, при этом W подключается к Y1 и Y2, используемым в качестве дополнительного суммирующего входа. В этом случае либо полярность входных соединений X должна быть изменена, либо входное напряжение X должно быть отрицательным.

Порядок исследования схемы.

2.2.3.1. Собрать схему, как показано на Рис.15.

2.2.3.2. Подать на входы X1, Y1, и Z2 напряжение 1В, частотой 1кГц, Подать на входы X2, Z1 напряжение 0.5В, частотой 1кГц.

2.2.3.3. Снять выходное напряжение.

2.2.3.4. Рассчитать теоретическое значение Uвых по формуле

$$W = 10 \frac{(Z_2 - Z_1)}{(X_1 - X_2)} + Y_1 \quad (8)$$

2.2.3.5. Сравните теоретическое и фактическое значение выходного напряжения, рассчитать абсолютную и относительную погрешности.

2.2.3.6. Повторить пункты 2-5 для $U_{вх}=3$ и 1В; 5 и 2; 10 и 6В, $f=10, 50, 100$ кГц соответственно.

2.2.4 Извлечение квадратного корня

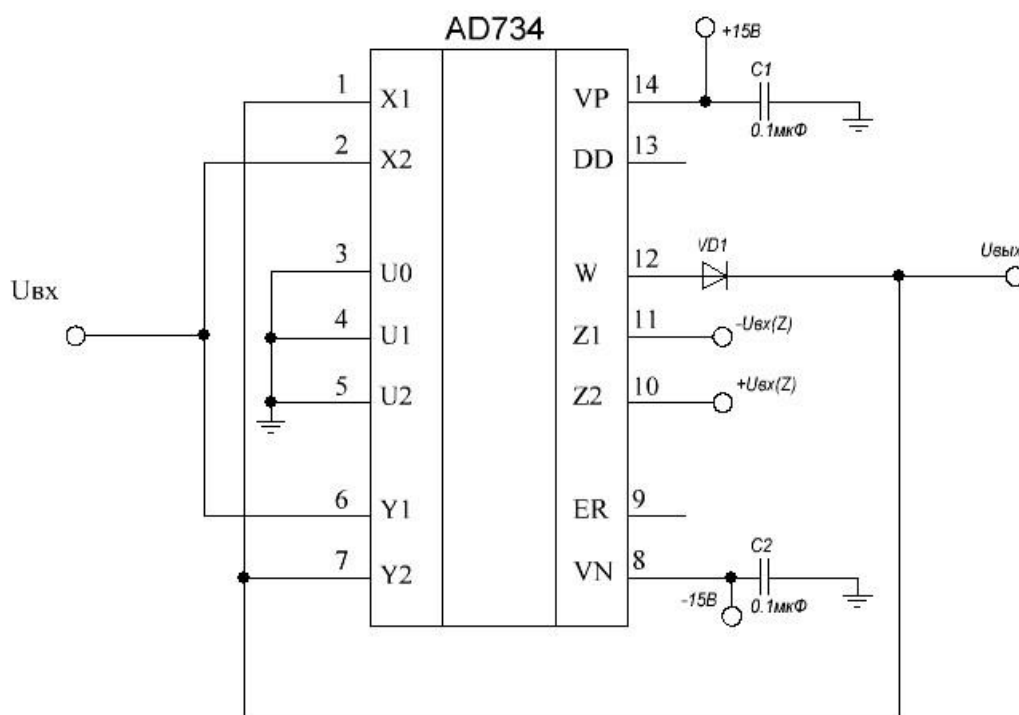


Рисунок 16 – Включение микросхемы AD734 для извлечения квадратного корня

Обратная связь теперь осуществляется через входы X и Y и всегда отрицательна из-за обратной полярности между этими двумя входами. Вход Z должен иметь показанную полярность, но поскольку это дифференциальный вход, то подключение, по необходимости, может быть любым.

Диод D включен, чтобы предотвратить состояние фиксации, которое может произойти, если на входе на мгновение появилась некорректная полярность входа. Выход всегда отрицательный.

Следует отметить, что загрузка на выходной стороне диода обеспечивается входным сопротивлением 25 кОм на X1 и Y2 и нагрузкой пользователя. В высокоскоростных приложениях может оказаться полезным включить дополнительную нагрузку на выход (минимум 1 кОм), чтобы ускорить время отклика. Как и в предыдущих приложениях, дополнительный сигнал, показан на схеме как S, который можно суммировать с выходом; если эта опция не используется, этот узел должен быть подключен к земле нагрузки.

Порядок исследования схемы.

2.2.4.1. Собрать схему, как показано на Рис.16.

2.2.4.2. Подать на Z₂ и общий вход X₂ и Y₁ напряжение 1В частотой 1кГц. Подать на Z₁ напряжение 0.6В частотой 1кГц.

2.2.4.3. Снять выходное напряжение.

2.2.4.4. Рассчитать теоретическое значение U_{вых} по формуле

$$W = \sqrt{10(Z_2 - Z_1)} + U_{\text{вх}} \quad (9)$$

2.2.4.5. Сравните теоретическое и фактическое значение выходного напряжения, рассчитать абсолютную и относительную погрешности.

2.2.4.6. Повторить пункты 2-5 для U_{вх}=4 и 1.5В; 6 и 2.4; 10 и 2.8В, f=10, 50, 100 кГц соответственно.

2.3. Примеры расчета и анализа функциональных преобразований на основе микросхемы AD734.

Пример 1: на основе блок-схемы микросхемы AD734, приведенной на рисунке 17, проведите анализ различных схем ее включения.

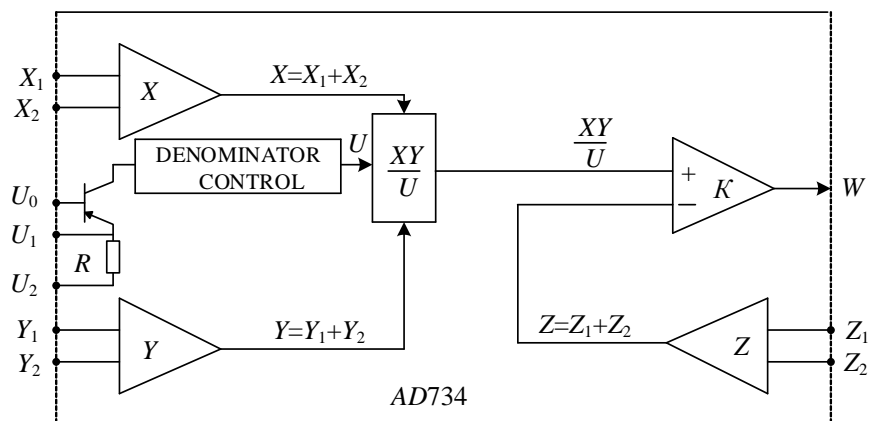


Рисунок 17 – Блок-схема микросхемы AD734

Режим множительного устройства. Принципиальная схема включения AD734 показана на рисунке. Символом VP обозначен вывод микросхемы, на который подается положительное напряжение питания. На вывод VN подается отрицательное напряжение питания.

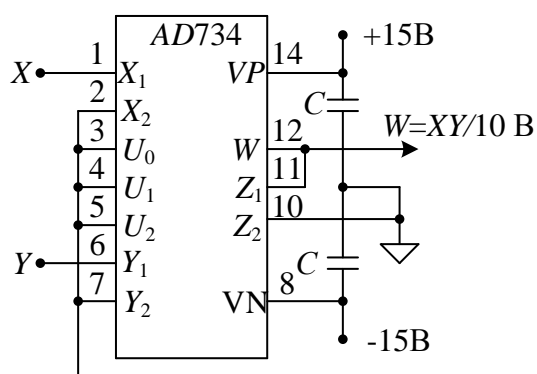


Рисунок 18 – Схема включения режима множительного устройства микросхемы AD734

Треугольником на принципиальной схеме обозначена «земля» для подключения нагрузки.

Соединение выхода с Z_1 – входом замыкает петлю обратной связи выходного операционного усилителя, коэффициент усиления которого обычно составляет 72 дБ. При $Z_2 = 0$ выходной ОУ включен по схеме повторителя напряжения с 100 % отрицательной обратной связью по напряжению, коэффициент передачи которого практически равен 1. Поэтому $W = XY/U$. Так как $U_0 = U_1 = U_2 = 0$, то $W = XY/10$.

Пример 2: на основе блок-схемы микросхемы AD734, приведенном в предыдущем примере, проведите анализ различных схем ее включения.

Режим деления двух аналоговых напряжений. Принципиальная схема включения AD734 показана на рисунке слева.

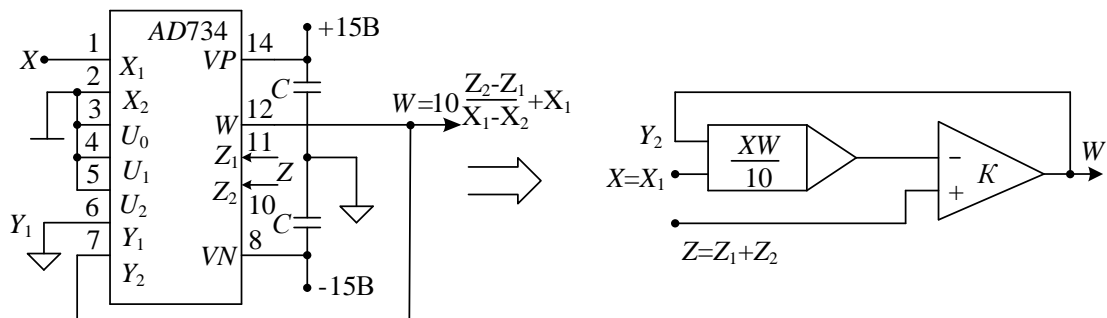


Рисунок 19 – Схема включения микросхемы AD734 в режиме деления двух аналоговых напряжений

Так как $U_0 = U_1 = U_2 = 0$, то цепи блок-схемы, устанавливающие напряжение U (Denominator Control Circuitry), дают $U = 10$ В.

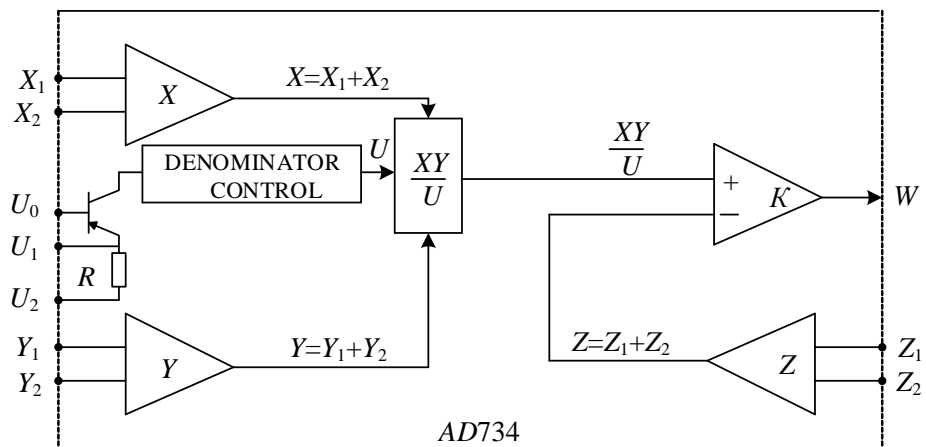


Рисунок 20 – Блок-схема микросхемы AD734

В соответствии с блок-схемой измерительный усилитель Y при $Y_1 = 0$ привносит в работу множительного устройства дополнительную инверсию. На схеме замещения, показанной на рисунке справа, этот факт отражен сменой полярностей входов ОУ и тем, что $Z = Z_2 - Z_1$. Рассматривая выходной операционный усилитель, формирующий выходной сигнал W как идеальный, имеем, что его входы эквипотенциальны:

$$\frac{XW}{10} = Z = Z_2 - Z_1 \quad (10)$$

при $X = X_1 - X_2 = X_1$.

В результате получим:

$$W = \frac{10(Z_2 - Z_1)}{X_1} \quad (11).$$

Пример 3: на основе блок-схемы микросхемы AD734, приведенном в предыдущем примере, проведите анализ различных схем ее включения.

Режим извлечения корня квадратного двух аналоговых напряжений. Принципиальная схема включения AD734 показана на рисунке слева.

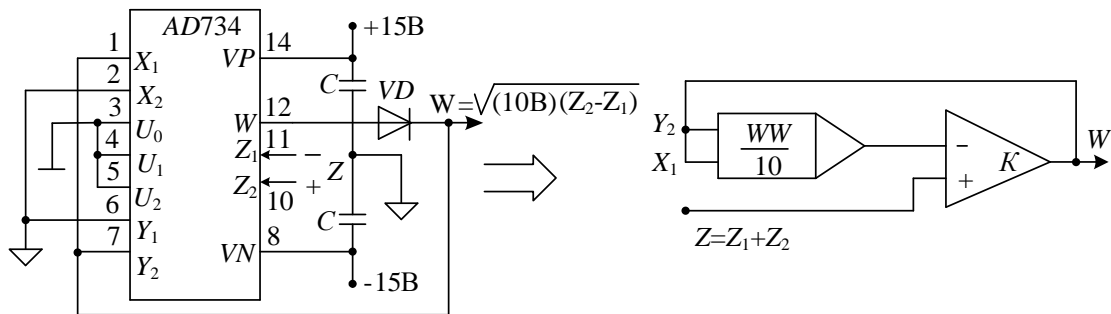


Рисунок 21 – Включение микросхем AD734 для извлечения квадратного корня

Обратим внимание, что в предложенном варианте схемы для извлечения квадратного корня из положительного входного напряжения:

$$U_{BX} = Z = Z_2 - Z_1, \quad (12)$$

выходное напряжение также должно быть положительным. Для достижения этого в схеме установлен полупроводниковый диод VD_1 . Итак, $W > 0$. Тогда $W = X_1 = Y_2$.

То, что всегда требуется, чтобы $U_{BX} > 0$, еще не означает, что полярности напряжений Z_2 и Z_1 должны быть всегда такими, как указано на рисунке, что видно из схемы замещения, приведенной справа.

Рассматривая по блок-схеме устройства выходной операционный усилитель, формирующий выходной сигнал W как идеальный, замечаем, что его входы имеют одинаковые потенциалы. Тогда имеем:

$$\frac{W \cdot W}{10} = Z = Z_2 - Z_1. \quad (13)$$

В результате получим:

$$W = \sqrt{(10 \text{ В}) \cdot (Z_2 - Z_1)} = \sqrt{(10 \text{ В}) \cdot U_{\text{ВХ}}}. \quad (14)$$

Если требуется к полученному значению выходного сигнала добавить еще некоторый дополнительный сигнал S , то схема может реализовать добавочный суммирующий вход за счет отсоединения «земли нагрузки» от входов X_2 и Y_1 и подачи на них сигнала S с предельными значениями $\pm 10 \text{ В}$ полной шкалы.

Сложные функциональные зависимости между входным и выходным напряжениями часто воспроизводят с предварительным проведением их аппроксимации.

Формирование нелинейных функций при использовании какого-либо вида их аппроксимации применяется тогда, когда нет возможности использовать в обратной связи ОУ нелинейные элементы или цепи с аналогичной или обратной зависимостью их вольтамперной характеристики.

Приближение функции $f(x)$ более простой функцией $\varphi(x)$ называется аппроксимацией (от латинского *approximo* – приближаюсь). Аппроксимирующую функцию $\varphi(x)$ строят таким образом, чтобы отклонения (в некотором смысле) $f(x)$ от $\varphi(x)$ в заданной области было наименьшим. Понятие «малого отклонения» зависит от того, каким способом оценивается близость двух функций при рассмотрении конкретных методов аппроксимации.

Аппроксимирующую функцию $\varphi(x)$ будем строить таким образом, чтобы ее значения в выбранных точках (узлах интерполяции) совпадали со значениями заданной функции $f(x)$.

Такой способ введения аппроксимирующей функции $\varphi(x)$ называют лагранжевой интерполяцией.

Кусочно-линейная интерполяция является простейшим видом многоинтервальной интерполяции, при которой исходная функция на каждом

частичном интервале $[x_{i-1}, x_i]$ аппроксимируется отрезком прямой, соединяющим точки (x_{i-1}, y_{i-1}) и (x_i, y_i) .

Если исходная функция $f(x)$ задана аналитическим выражением, то при построении аппроксимирующей функции $\varphi(x)$ необходимо требовать минимальности отклонения одной функции от другой на заданном отрезке $[a, b]$ их существования.

Наиболее употребительным является так называемое среднеквадратичное приближение, для которого наименьшее значение имеет величина

$$M = \int_a^b [f(x) - \varphi(x)]^2 dx. \quad (15)$$

Реализация нелинейных зависимостей методом кусочно-линейной аппроксимации осуществляется с помощью диодных кусочно-линейных функциональных преобразователей на ОУ.

Операционные усилители в таких преобразователях дают возможность практически полностью исключить погрешности, вызываемые отсутствием идеальности характеристик диодов.

2.4 Разводка печатной платы в PCad

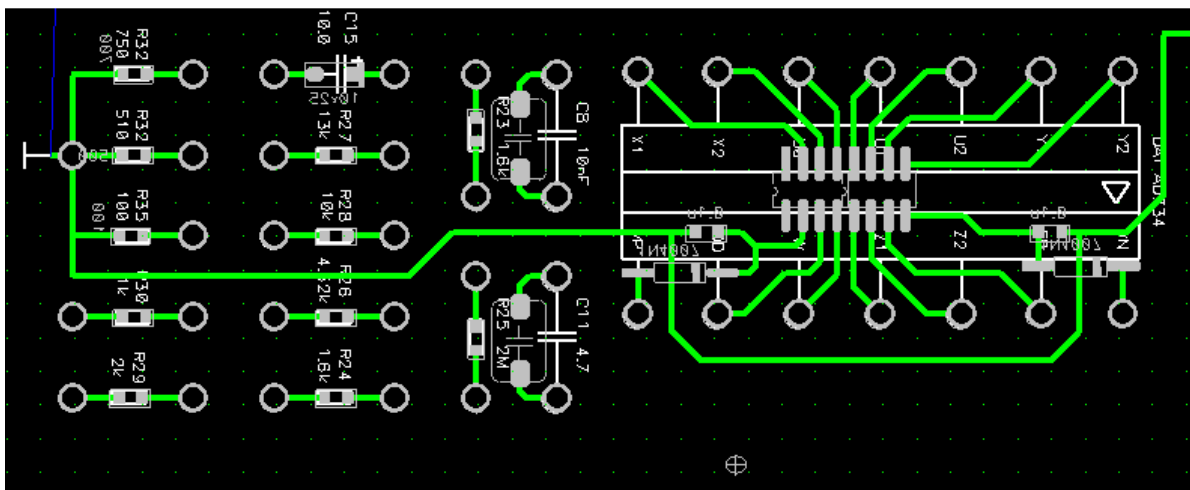


Рисунок 22 – Разводка печатной платы

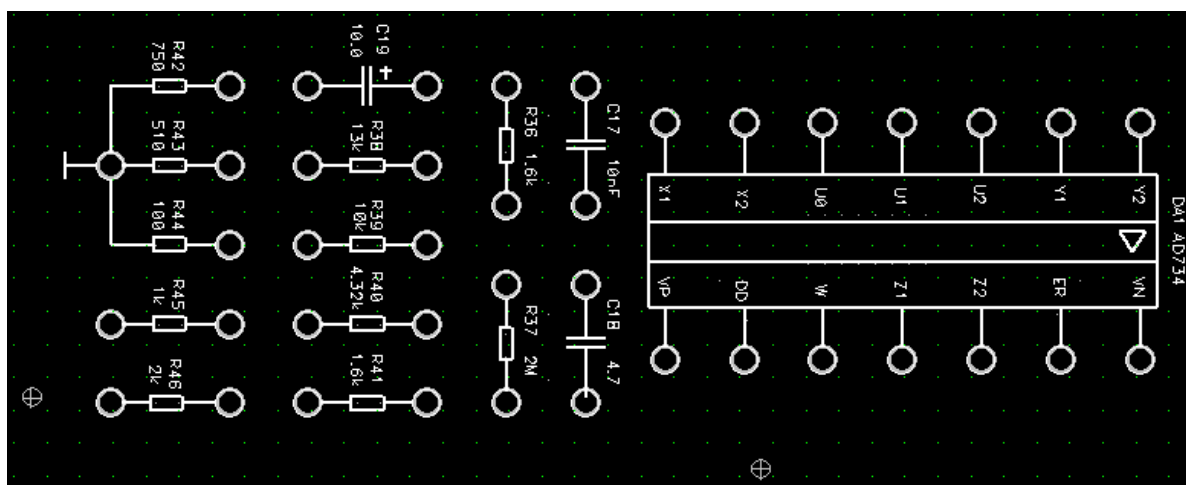


Рисунок 23 – Шелкография печатной платы

3. Проверка работоспособности схем путем симуляции в Multisim

3.1 Симуляция схемы удвоения частоты и возведения в квадрат

Соберем в программе Multisim схему с рисунка 14.

Рассчитаем частоту по формуле (4) для емкости $C=0,02\text{мкФ}$, $f=2200\text{Гц}$.

Подадим напряжение $U_{\text{вх}}=2\text{В}$, частотой 2200Гц . Подключим вольтметр для фиксации выходного напряжения. Снимем осциллограммы со входа и выхода схемы.

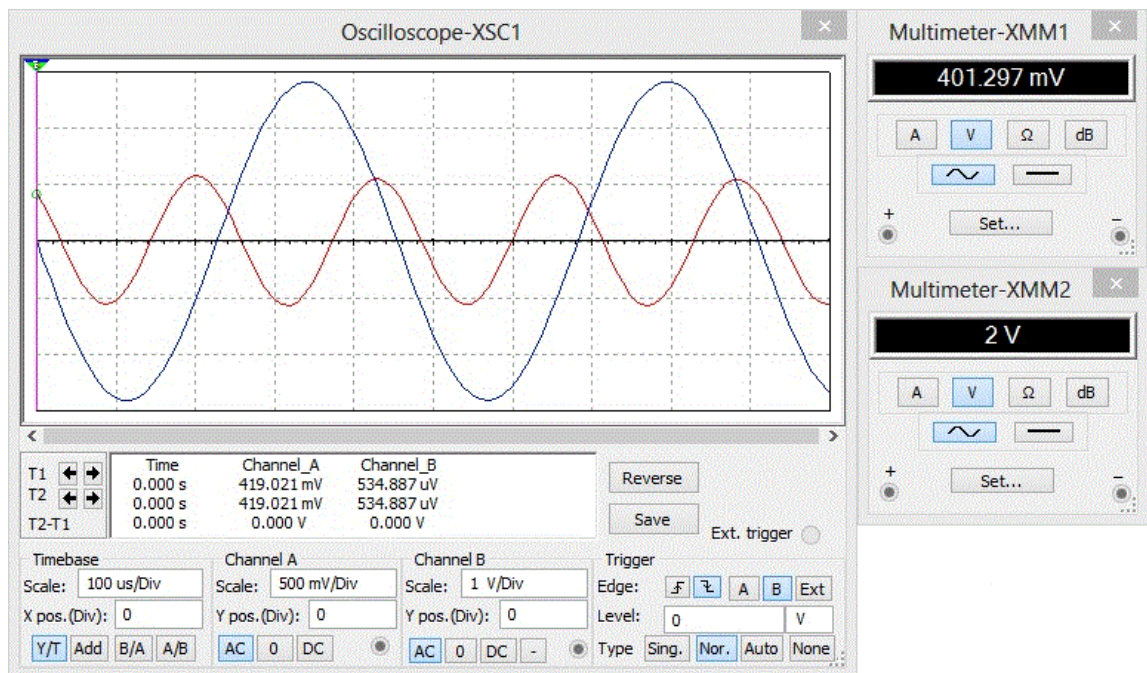


Рисунок 24 – Осциллограмма и значения вольтметров входа и выхода.

(синим цветом отмечен входной сигнал)

ХММ2 входной вольтметр, ХММ1 выходной.

Сравним получившиеся значения с расчетами по формуле 7.

$U_{\text{выхтеор}}=0,4\text{В}$. По осциллограммам определим входную и выходную частоты. $t_{\text{вх}}=450\text{мкс}$, соответственно частота равна $f_{\text{вх}}=2222\text{Гц}$, $t_{\text{вых}}=230\text{ мкс}$, соответственно частота выходного сигнала равна $f_{\text{вых}}=4348\text{Гц}$.

Рассчитаем погрешность.

Погрешность выходного напряжения.

$$\Delta U_{\text{вых}} = |400 - 401.297| = 1,297\text{мВ}$$

$$\delta U_{\text{ВЫХ}} = \frac{1,297}{400} * 100\% = 0,324\%$$

Погрешность частоты. $f_{\text{ВЫХТЕОР}} = 4400 \text{ Гц}$

$$\Delta f_{\text{ВЫХ}} = |4400 - 4348| = 52 \text{ Гц}$$

$$\delta f_{\text{ВЫХ}} = \frac{52}{4400} * 100\% = 1,18\%$$

По погрешностям видно, что схема является работоспособной и теоретические расчеты совпадают с результатами симуляции.

3.2 Симуляция схемы стандартного перемножителя

Соберем в программе Multisim схемы, согласно рисунку 13.

Частоты входных сигналов будет $f = 1000 \text{ Гц}$, $U_{\text{ВХ}X_1, Y_1} = 4,241 \text{ В}$, $U_{\text{ВХ}X_2, Y_2} = 2,828 \text{ В}$, $U_{\text{ВХ}Z_2} = 4,241 \text{ В}$.

Рассчитаем теоретическое значение выходного напряжения по формуле (1). $U_{\text{ВЫХТЕОР}} = 4,441 \text{ В}$. В результате симуляции получили значение $U_{\text{ВЫХ}} = 4,44 \text{ В}$.

Далее будут приведены осциллограммы входов и выходов.

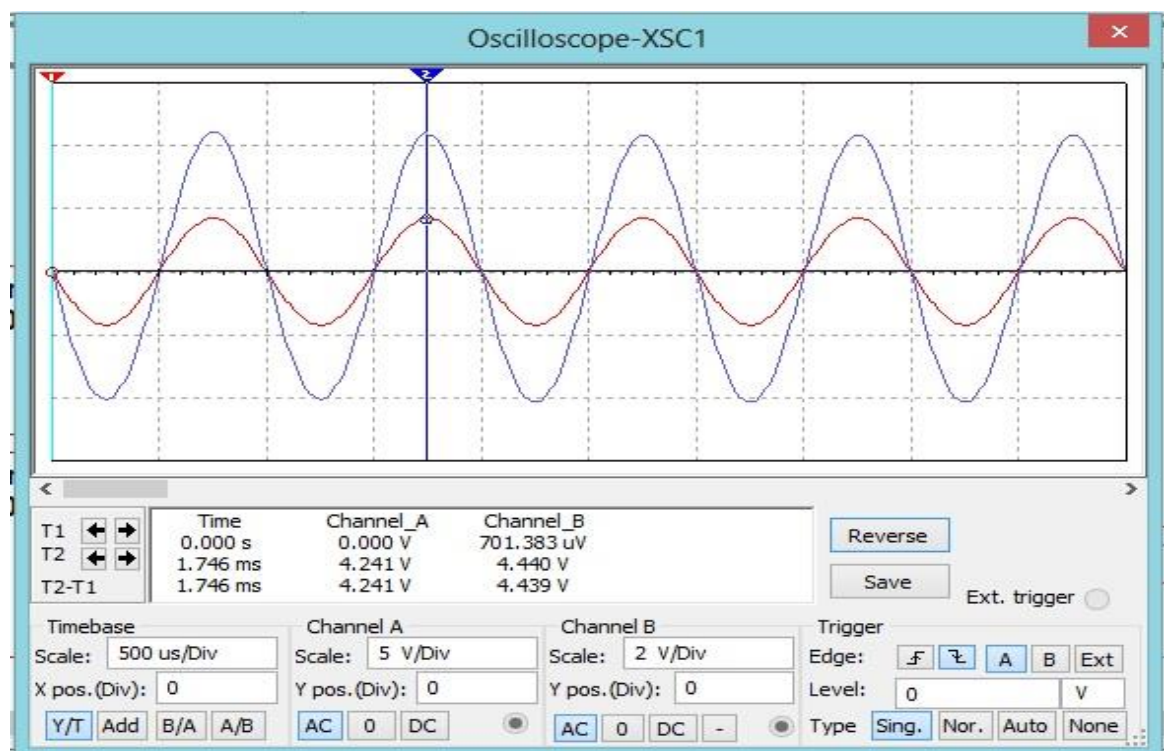


Рисунок 25 – Входы X1, Y1, Z1 и выход(выходной сигнал обозначен синим цветом).

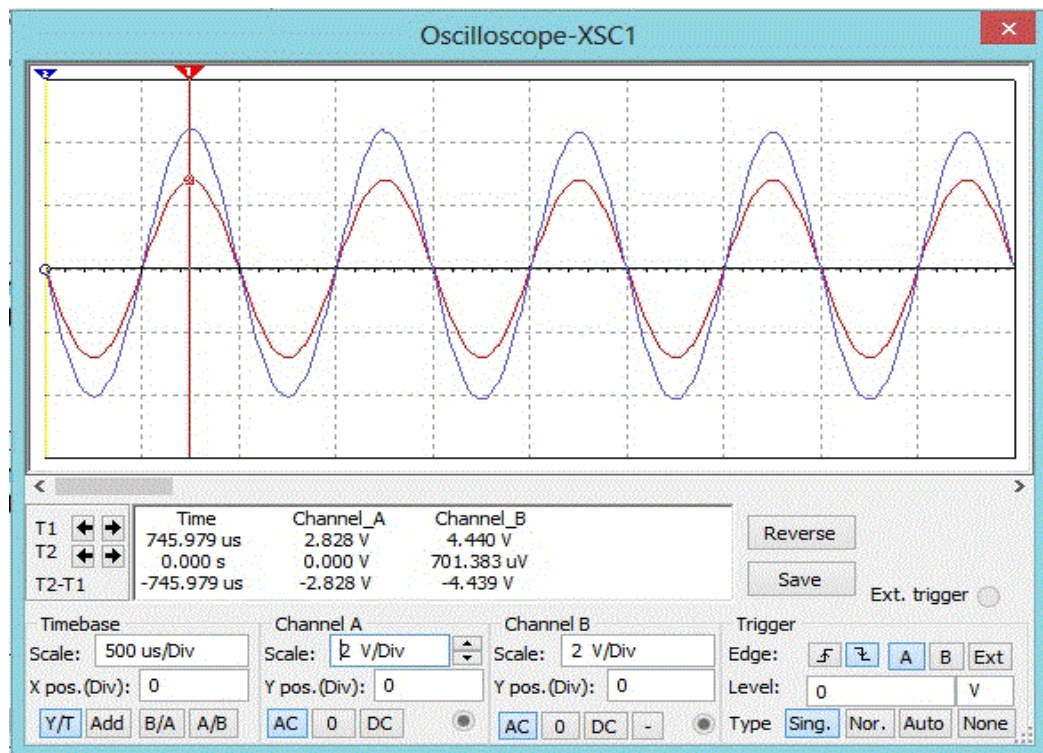


Рисунок 26 – Входы X2, Y2 и выход.

Рассчитаем погрешности.

$$\Delta U_{\text{вых}} = |4,44 - 4,441| = 0,001\text{В}$$

$$\delta U_{\text{вых}} = \frac{0,001}{4,44} * 100\% = 0,023\%$$

Теоретические расчеты совпадают с результатами симуляции, схема работоспособна.

3.3 Симуляция схемы извлечения квадратного корня.

Соберем в программе Multisim схему, согласно рисунку 16. В качестве диода выберем диод 1N4148. Значения $U_{\text{вх}}=1,414\text{В}$, $U_{\text{вхZ1}}=2,121\text{В}$, $U_{\text{вхZ2}}=5,656\text{В}$, $f=1000\text{Гц}$.

Рассчитаем теоретическое значение выходного напряжения по формуле (9). $U_{\text{выхтеор}}=|7,36|\text{В}$. Надо помнить, что выход отрицательный. По результатам симуляции получили значение $U_{\text{вых}}=|7,345|\text{В}$.

Рассчитаем погрешности.

$$\Delta U_{\text{вых}} = |7,36 - 7,345| = 0,015\text{В}$$

$$\delta U_{\text{ВЫХ}} = \frac{0,015}{7,36} * 100\% = 0,2\%$$

Далее буду приведены осциллограммы выходных и выходных сигналов.

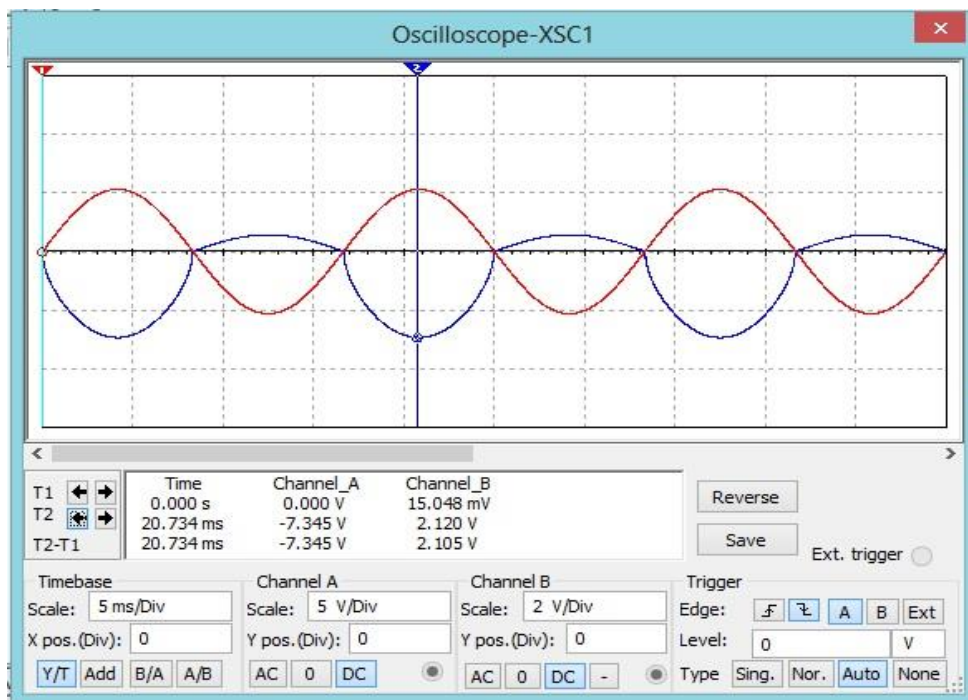


Рисунок 27 – Вход Z1 и выход(выход обозначен синим цветом).

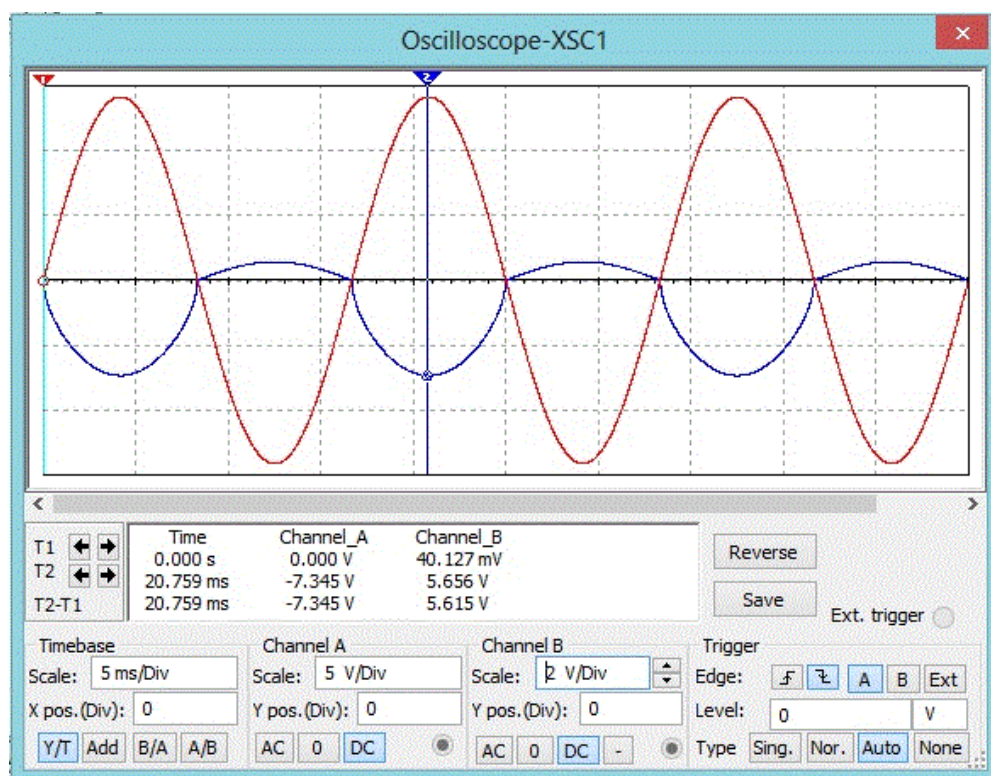


Рисунок 28 – Вход Z2 и выход.

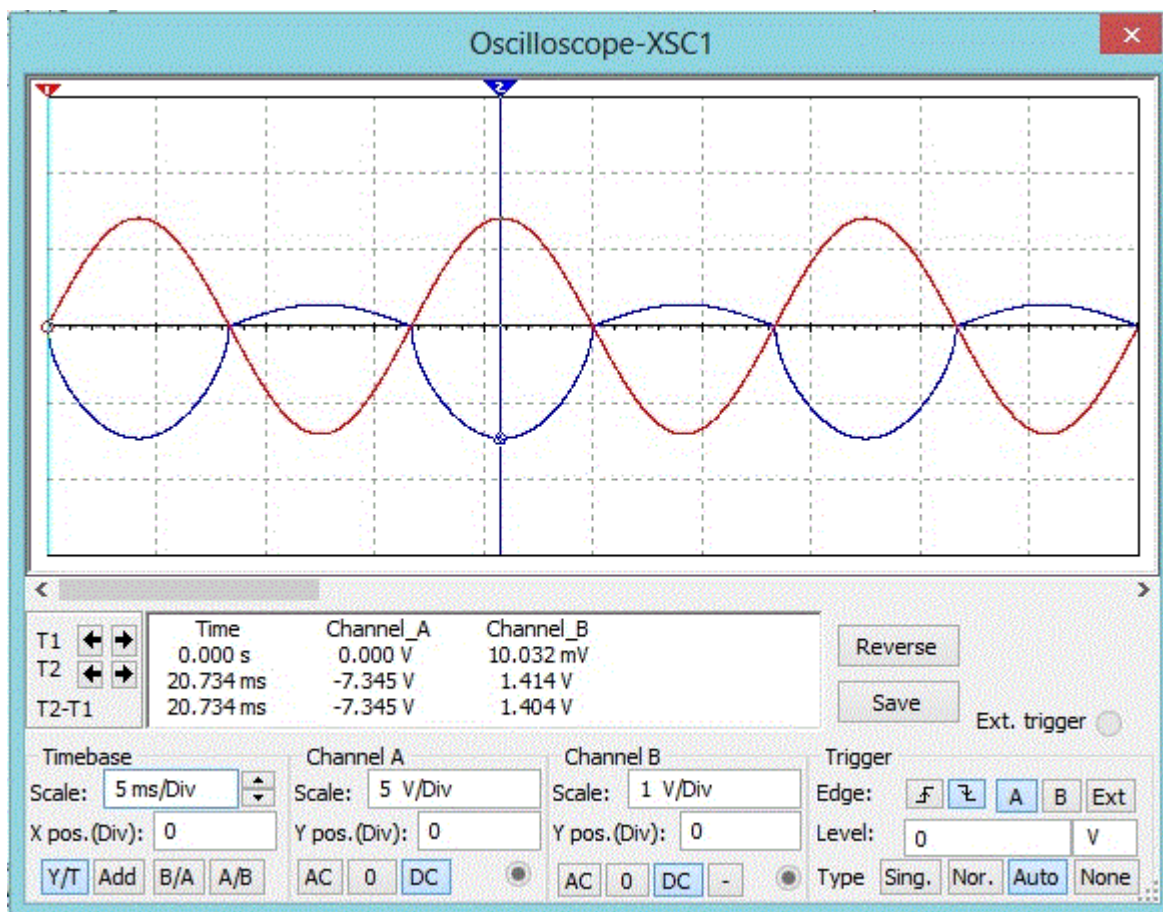


Рисунок 29 – Вход и выход.

По данным симуляции видно, что все схемы являются работоспособными и погрешность не превышает пределов, указанных для микросхемы AD734.

4. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

В данной выпускной-квалицированной работе будет рассчитан и спроектирован лабораторный стенд по аналоговой электронике. Данный стенд предполагает применения в учебных лабораториях.

Целью данного раздела является проектирование и создание конкурентоспособных разработок, технологий, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

4.1 Анализ конкурентных технических решений

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения. Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot \bar{B}_i \quad (16)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента; B_i – вес показателя (в долях единицы); \bar{B}_i – балл i -го показателя

Конкурент 1: NI Elvis II, веб-сайт:

<http://www.ni.com/ru-ru/support/model.ni-elvis-ii.html>

NI Elvis II – лабораторный стенд по электронике со сменными панелями, обеспечивающими широчайшие возможности применения в лабораторных исследованиях. Недостатком является необходимость докупать сменные панели, стоимость которых может доходить до стоимости самого устройства.

Конкурент 2: ЭЦОЭ1-Н-Р, веб-сайт:

<https://galsen.ru/catalog/set/58/60/745>

ЭЦОЭ1-Н-Р – полноценный лабораторный стенд со всем необходимым оборудованием для проведения работ. К его недостаткам можно отнести весьма большие масса-габаритные параметры.

Таблица 3 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Бф	Бк1	Бк2	Кф	Кк1	Кк2
		3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
3. Надежность	0,1	3.5	4.5	4.5	0.35	0.45	0.45
7. Безопасность	0,05	4	4.5	4	0.2	0.225	0.2
9. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,15	4.5	4	4.5	0.625	0.6	0.675
10. Простота эксплуатации	0,15	5	4	4	0.75	0.6	0.6
11. Качество интеллектуального интерфейса	0,05	3.75	4.5	4.5	0.1875	0.225	0.225
12. Ремонтопригодность	0,1	3	2.5	2.5	0.3	0.25	0.25
Экономические критерии оценки эффективности							
13. Конкурентоспособность продукта	0,1	3.5	4.5	4.5	0.35	0.45	0.45
16. Цена	0,2	3.75	2	2.5	0.75	0.4	0.5

18. Финансовая эффективность научной разработки	0,1	4.5	3	3.5	0.4 5	0.3	0.3 5
Итого	1				3.9 625	4.6 25	4.6 35

Уязвимость позиции конкурентов обусловлена их высокой ценой разработки. И тем не менее, стоимость приведенных лабораторных стендов значительно превышает себестоимость компонентов, используемых для их создания. За счёт этого появляется возможность занять свою нишу и увеличить определенную долю рынка. Это же и является конкурентным преимуществом разработки. Однако, в целом, стоит отметить, что конкурентоспособность приведённых аналогов всё же высокая, в большинстве своём, из-за качества разработки.

4.2 Технология QuaD

Для описания качества новой разработки и ее перспективности на рынке, позволяющее принимать решение целесообразности вложения денежных средств в научно-исследовательский проект, используем технологию QuaD (Таблица 3).

Оценка качества и перспективности по технологии QuaD определяется по формуле:

$$П_{\text{ср}} = \sum B_i \cdot Б_i, \quad (17)$$

где $П_{\text{ср}}$ – средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки;

- B_i – вес показателя (в долях единицы);
- $Б_i$ – средневзвешенное значение i -го показателя.

Таблица 4 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение (3/4)	Средневзвешенное значение (5/2)
1	2	3	4	5	
Показатели оценки качества разработки					
3. Надежность	0,2	70	100	0,7	7
7. Безопасность	0,3	80	100	0,8	16
9. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,15	90	100	0,9	6
10. Простота эксплуатации	0,15	100	100	1	6,67
11. Качество интеллектуального интерфейса	0,05	75	100	0,75	15
12. Ремонтопригодность	0,1	60	100	0,6	6
Показатели оценки коммерческого потенциала разработки					
13. Конкурентоспособность продукта	0,1	70	100	0,7	7
16. Цена	0,2	75	100	0,75	3,75
18. Финансовая эффективность научной разработки	0,1	90	100	0,9	9
Итого	1				76,42

Значение P_{cp} позволяет говорить о перспективах разработки и качестве проведенного исследования. Если значение показателя от 79 до 60 – то перспективность выше среднего.

Перспективность данной разработки выше среднего, из этого можно сделать вывод о том, что инвестирование в разработку и развитие данного устройства имеет смысл.

4.3 SWOT – анализ

SWOT-анализ помогает выявить слабые и сильные стороны проекта, также возможности и угрозы, то есть исследовать данный проект (работу) для внешней и внутренней среды (Таблица 5).

Таблица 5 – Матрица SWOT

<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Наличие бюджетного финансирования.</p> <p>С2. Чуть более высокие характеристики в сравнении с конкурентами</p> <p>С3. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями.</p> <p>С4. Возможность использования современной материальной базы</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Отсутствие инжиниринговой компании, способной построить производство под ключ</p> <p>Сл2. Большой срок поставок комплектующих</p> <p>Сл3. Закупить плату можно только в специализированном магазине.</p> <p>Сл4. Отсутствие рекламы</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Включение в продукт возможности замены компонентов</p> <p>В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт.</p> <p>В3. Снижение таможенных пошлин на материалы, используемые при научных исследованиях.</p>	<p>Угрозы:</p> <p>У1. Отсутствие спроса</p> <p>У2. Развитая конкуренция технологий производства</p> <p>У3. Введения дополнительных государственных требований к сертификации продукции</p>

В4. Снижение уровня конкурентоспособности у аналогичных компаний.	У4. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства.
---	--

Второй этап состоит в выявлении сильных и слабых сторон проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

Таблица 6 – Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта					
Возможности проекта		С1	С2	С3	С4
	В1	+	-	-	-
	В2	-	+	+	-
	В3	-	-	-	-
	В4	-	+	+	+

Анализ интерактивных таблиц представляется в форме записи сильно коррелирующих сильных сторон и возможностей:

– В1В4С2С3

Таблица 7 – Интерактивная матрица проекта

Слабые стороны					
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	В1	-	+	+	-
	В2	-	+	-	-
	В3	-	-	+	-
	В4	+	+	+	0

Анализ интерактивных таблиц представляется в форме записи сильно коррелирующих сильных сторон и возможностей:

– В1В4Сл2Сл3

Таблица 8 – Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта					
Угрозы проекта		С1	С2	С3	С4
	У1	-	-	+	-
	У2	-	-	+	+
	У3	-	-	-	-
	У4	+	-	+	-

Анализ интерактивных таблиц представляется в форме записи сильно коррелирующих сильных сторон и возможностей:

– У1У2У4С3

Таблица 9 – Интерактивная матрица проекта

Слабые стороны					
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	У1	+	+	-	-
	У2	+	0	+	-
	У3	+	-	-	+
	У4	+	-	+	-

Анализ интерактивных таблиц представляется в форме записи сильно коррелирующих сильных сторон и возможностей:

– У2У4Сл1Сл3

Итоговая матрица SWOT-анализа (Таблица 10).

Таблица 10 – Итоговая матрица SWOT

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта:	Слабые стороны научно-исследовательского проекта:
	С1. Наличие бюджетного финансирования.	Сл1. Отсутствие инжиниринговой
	С2. Чуть более высокие характеристики в сравнении с конкурентами	компании, способной построить производство под ключ
	С3. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями.	Сл2. Большой срок поставок комплектующих
	С4. Возможность использования современной материальной базы	Сл3. Закупить плату можно только в специализированном магазине.
		Сл4. Отсутствие рекламы



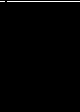



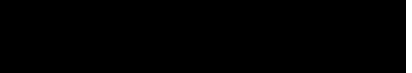
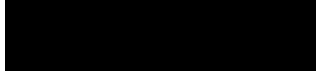

Возможности: В1. Включение в продукт возможности замены компонентов В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт. В3. Снижение таможенных пошлин на материалы, используемые при научных исследованиях. В4. Снижение уровня конкурентоспособности у аналогичных компаний.	– Высокая функциональная мощность разработки и более низкая стоимость по сравнению с конкурентами позволят включить в проект возможность цифрового управления, а так же, способны понизить конкурентоспособность аналогичных приборов в сравнении с данным прибором.	– Слабая эргономичность устройства и большой срок поставок требуемых комплектующих способны могут повысить планку конкурентоспособности аналогов в силу удобства их использования.
Угрозы: У1. Отсутствие спроса У2. Развитая конкуренция технологий производства У3. Введения дополнительных государственных требований к сертификации продукции У4. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства.	– Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями позволяет нивелировать несколько угроз сразу: отсутствие спроса – в виду низкой цены. Развитая конкуренция – в виду отсутствия спроса у конкурентов.	– Отсутствие инжиниринговой компании, большой срок поставок требуемых комплектующих могут привести к несвоевременному финансовому обеспечению со стороны государства в виду длительного срока формирования сметы на комплектующие.

SWOT-матрица позволяет сделать вывод о том, что сильной стороной проекта является его функциональная мощность, что позволит расширить диапазон возможностей, а также уменьшить влияние угроз на реализацию проекта. Но большой срок поставки комплектующих может сильно усложнить выход товара на рынок.

4.4 Разработка графика проведения научного исследования

При выполнении дипломных работ студенты в основном становятся участниками сравнительно небольших по объему научных тем. Поэтому наиболее удобным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта. Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Таблица 11 – Линейный график работ

Вид работы	Баранов	Кустов	Февраль			Март			Апрель			Май			Июнь
			10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30	10
Выбор направления исследований	1	3													
Составление и утверждение технического задания	6														
Календарное планирование работ по теме		7													
Подбор и изучение материалов по теме		10													
Написание теоретической части		18													
Определение целесообразности ОКР	6														
Закупка комплектующих		39													
Разработка алгоритма		29													
Разработка и расчет параметров	4	6													

принципиальной схемы															
Конструирование и изготовление макета	4	7													
Лабораторные испытания макета	1	5													
Оценка полученных результатов	6														
Итоговое оформление работы		10													

Дата начала составления ВКР – 01.02.2018. Ожидаемая дата окончания работ над ВКР – 10.06.2018.

Научный руководитель (Баранов П.Ф.) –

Инженер (Кустов В.А.) –

Сделав заключение по результатам данных исследований можно сделать вывод относительно дальнейших перспектив разработки данного устройства и его внедрения на рынок товаров, выбора сегмента для реализации разработки, а также выделить альтернативы в стратегии модернизации разработки. В данном разделе был приведён SWOT-анализ для оценки коммерческого потенциала и перспективности лабораторного стенда по электронике. Исходя из итоговой матрицы, можно сказать, что сильные стороны проекта позволяют улучшить проект и воплотить возможности. Был получен опыт проведения SWOT-анализа для технических устройств и оценки их коммерческого потенциала и перспективности.

Данной разработке необходимо произвести модернизацию, что в свою очередь поможет устранить некоторые недостатки разработки, а также может добавить новые преимущества к уже имеющимся по сравнению с конкурентами. После проведения модернизации конкурентоспособность разработки может существенно вырасти на рынке товаров. Для того чтобы модернизация имела как можно больший эффект, необходимо произвести качественный анализ в области выбора рынка, на котором будет реализовываться разработка, а также выявить слабые стороны продукции у конкурентов. По результатам проведенного анализа будет определено, в котором должна быть произведена модернизация разработки. Путей модернизации может быть несколько, например: 1) Модернизация разработки в целях минимизации влияния слабых сторон разработки на ее реализацию, либо, где это возможно, устранить слабые стороны. 2) На основании выявленных слабых сторон у продукции конкурента определить, имеются у нашей разработки такие же слабые стороны, и если имеются, то попытаться их устранить. 3) Произвести модернизацию в направлении усовершенствования разработки в тех местах, где у конкурентов недостатки.

5 Социальная ответственность

В данном разделе будет приведен анализ вредных и опасных факторов, возникающих при производстве и эксплуатации разработки и средства защиты от влияния факторов, определение вредных воздействий на окружающую среду, выявление мер по обеспечению правовой и организационной безопасности разработки, определение порядка действий при возникновении чрезвычайных ситуаций.

5.1 Производственная безопасность

В данном пункте анализируются вредные и опасные факторы, которые могут возникать при разработке или эксплуатации лабораторного стенда.

Для выбора факторов используется ГОСТ 12.0.003–2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация». Перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды представлен в виде таблицы.

Таблица 12. – Опасные и вредные факторы при выполнении работ по созданию лабораторного стенда по аналоговой электронике.

Источник фактора, наименование вида работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003–74)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
1) Конструирование элементов печатной платы 2) Подключение измерительных приборов 3) Ремонт и настройка элементов макетной платы 4) Экспериментальное исследование	1. Монотонность труда 2. Недостаточная освещенность рабочей зоны	1. Электрический ток 2. Термический ожог	ГОСТ 12.4.011–89 ССБТ ГОСТ 12.0.003–2015 СП 52.13330.2011 ГОСТ 12.1.030–81 ГОСТ 12.1.038–82 ССБТ;

Ниже рассматриваются более подробно выявленные вредные и опасные факторы. Каждый фактор рассматривается в последовательности: источник возникновения фактора; приведение допустимых норм с необходимой размерностью; предлагаемые средства защиты (коллективные и индивидуальные) для минимизации воздействия фактора.

5.2 Анализ выявленных вредных факторов

5.2.1 Монотонность труда

Процесс пайки и изготовления электрической схемы подразумевает под собой однообразие выполняемых трудовых операций, требующих высокой концентрации внимания. Вследствие этого у работника могут проявиться симптомы зрительной усталости, проявляющихся в покраснении глаз, трудности в фокусировке, тяжести век и надбровий. Последствиями при монотонности труда могут стать принятие технически неверных решений, которые могут привести к неисправности изготавливаемых устройств, повышение риска травматизма и аварийности при производстве.

Чтобы избежать таких последствий, необходимо применять меры по уменьшению влияния монотонности работы на человека согласно ГОСТ 12.0.003-2015

1. Осуществлять перерыв работы каждые 2 часа
2. Установление оптимальной продолжительности труда
3. Чередование трудовой деятельности
4. Повышение заинтересованности работника в рабочем задании
5. Для снятия частичного утомления проводить физкультурную зарядку с разного рода упражнениями

5.2.2 Недостаточная освещенность

Свет – это один из важнейших факторов внешней среды, который оказывает разносторонне биологическое действие на организм и играющий важную роль в сохранении здоровья и высокой работоспособности.

Повышенная производительность труда, высокий уровень работоспособности и положительное психологическое действие на человека в высокой степени зависит от правильно спроектированного освещения. Недостаточная, избыточная или нерациональная освещенность может стать причиной травм, снижения производительности труда, а также отразиться на качестве выполняемых работ. Основным нормативным документом в области освещенности в производственном процессе является СНиП 23–05–95 (СП 52.13330.2011).

В лаборатории используются два вида освещения: естественное и искусственное.

На рабочей поверхности должны отсутствовать резкие тени, которые создают неравномерное распределение поверхностей с различной яркостью в поле зрения, искажает размеры и формы объектов различия, в результате повышается утомляемость и снижается производительность труда.

Согласно СНиП 23–05–95* (СП 52.13330.2011), в процессе выполнения экспериментальной части выпускной квалификационной работы бакалавра, производились зрительные работы, относящиеся к 3 разряду – высокая точность, наименьший размер объекта различения 0,3 – 0,5 мм, подразряд работы – в, контраст объекта различения с фоном – большой, характеристика фона – темный, значение комбинированного освещения 600 Лк. Значение показателя ослеплённости (Р) не более 20, а коэффициента пульсации (Кп) не более 15 %.

Коэффициент естественного освещения (КЕО) при верхнем или комбинированном освещении равен 3%, при боковом – 1,2%.

5.3 Анализ выявленных опасных факторов

5.3.1 Поражение электрическим током

Электробезопасность представляет собой систему организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от

вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статистического электричества.

Основным источником электрического тока является источник питания для лабораторного стенда.

Причинами воздействия тока на человека являются: случайные проникновения или приближение на опасное расстояние к токоведущим частям; появление напряжения на металлических частях оборудования в результате повреждения изоляции; короткое замыкание и др.

Устанавливает предельно допустимые уровни (ПДУ) напряжений и токов ГОСТ 12.1.038 – 82. Мероприятия по защите от поражения электрическим током – защитное заземление. Принцип действия защитного заземления: человек должен стоять внутри контура заземления и при попадании фазного напряжения на заземленный корпус прибора, под фазным напряжением окажется как корпус прибора, так и участок земли, на которой стоит человек. При прикосновении человека с прибором между его рукой и ногами не будет возникать разницы потенциалов, и ток через человека не потечет. Данное помещение относится к помещениям без повышенной опасности.

Мероприятия, проводимые для устранения факторов поражения электрическим током:

а) все лица, приступающие к работе с электрооборудованием, проходят инструктаж на рабочем месте, допуск к самостоятельной работе разрешается лишь после проверки знаний техники безопасности;

б) осуществляется постоянный контроль качества и исправности защитных приспособлений и заземлений;

в) эксплуатация электроустановок предусматривает введение необходимой технической документации; обеспечивается недоступность к токоведущим частям, находящимся под напряжением; корпуса приборов и электроустановок заземляются;

Все перечисленные мероприятия выполнены, лаборатория относится к помещениям без повышенной опасности поражения электрическим током.

На рабочем месте все приборы имеют защитное заземление с сопротивлением не более 4 Ом (ГОСТ 12.1.030–81). Все сотрудники должны пройти инструктаж по электробезопасности.

5.3.2 Термическая опасность

При пайке компонентов можно получить серьезный ожог. Чтобы исключить такой случай, необходимо соблюдать технику безопасности при работе с паяльником. Коротко сформулированы следующие правила:

- проверить исправность паяльника
- держать паяльник только за ручку, избегая прикосновения к жалу
- при пайке не наклоняться над паяльником ближе 20 см. во избежание попадания брызг олова и горячих паров газа
- не работать вблизи легковоспламеняющихся предметов
- в перерывах между работой ставить паяльник на подставку
- в перерывах между работами выключать паяльник
- при выключении не тянуть провод

6 Экологическая безопасность

6.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду

Охрана окружающей среды – это комплексная проблема и наиболее активная форма её решения – это сокращение вредных выбросов промышленных предприятий через полный переход к безотходным или малоотходным технологиям производства. В данной работе проектируется прибор, состоящий из множества микросхем, электрическое соединение которых производится при помощи пайки. Пайка осуществляется оловянно–свинцовым припоем. Свинец является одним из токсичных металлов и включен в списки приоритетных загрязнителей окружающей среды. Попадая в атмосферу, свинец с воздухом попадает в организм человека. В большинстве

случаев речь идет о поглощении малых доз и накопление их в организме, пока его концентрация не достигнет критического уровня необходимого для токсического проявления. Для очистки воздуха от вредных выбросов при процессе пайки применяется метод физической адсорбции. Метод основан на поглощении из загрязненного газа одного или несколько вредных компонентов твердым веществом – адсорбентом. Помимо загрязнения атмосферы загрязнению свинцом может подвергаться и почва с гидросферой. Загрязнение происходит в момент захоронения печатного узла. Попадая в почву, происходит накопление свинца в почве, и почва постепенно становится все более зараженной и в какой-то момент может произойти разрушение органического вещества почвы с выбросом свинца в почвенный раствор. В итоге такая почва окажется непригодной для сельскохозяйственного использования. Не все виды почв могут предохранять от загрязнения грунтовые или питьевые воды, попадая в пресные воды, свинец, как и любой другой тяжелый металл, оказывает пагубное влияние на экосистему водоема. Загрязнение питьевой воды представляет наибольшую опасность для человека, так как, попадая в организм человека, свинец накапливается в теле человека и может привести к серьезным заболеваниям. Чтобы предотвратить загрязнение окружающей среды при захоронении печатного узла, необходимо производить переработку печатного узла на специализированных предприятиях.

Утилизация электрических схем лабораторных стендов – это сложный многоэтапный процесс. Подобные конструкции после истечения срока службы нельзя просто выбросить на свалку, так как они содержат вредные вещества. Диэлектрическая жидкость, которая содержится в конденсаторах, состоит из полихлорированных дифенилов (ПХД) или бифенилов (ПХБ) – именно они могут нанести значительный вред. Электронные компоненты отправляют на аффинажный завод. При этом оформляется паспорт по извлеченным драгоценным металлам (ДРМ). Все драгоценные металлы, полученные в процессе аффинажа, по закону, должны быть сданы

государству. В противном случае утилизация может быть расценена как незаконный оборот драгметаллов.

6.2 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

В случае ЧС, необходимо немедленно позвонить в пожарную службу по номеру «01» со служебного телефона или «101» с мобильного телефона.

Доведение сигналов оповещения ГО и в случае ЧС до персонала объектов осуществляется с помощью каналов радиовещания, по радиотрансляционным сетям и сетям связи. В качестве наиболее вероятных чрезвычайных ситуаций техногенного характера рассматривается:

- пожар на территории объекта;

Данное помещение, где разрабатывается лабораторный стенд по электронике, согласно НПБ 105–03 «Определение категории помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности», относится к категории В, так как в помещении присутствуют горючие и трудногорючие жидкости, вещества и материалы способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом гореть.

Опасными факторами пожара для людей являются токсичные продукты горения, пониженная концентрация кислорода, открытый огонь, дым, повышенная температура воздуха, искры, повреждение и обрушение зданий, установок, сооружений, а также взрыв.

Для предотвращения пожара необходимо соблюдать следующие меры:

- уменьшение определяющего размера горючей среды;
- предотвращение образования горючей среды.

При перегреве, коротких замыканиях и т.п. возможно возгорание электроустановок, электропроводки. Для тушения пожара необходимо применять специальные средства, невозможно использовать воду и другие токопроводящие вещества. Поэтому помещения должны быть оборудованы средствами для тушения электроустановок и электропроводок под напряжением. Тип огнетушителей: ОУ–10.

6.3 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

6.3.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства

К общей части нормативно–правовых основ охраны труда относится: Трудовой кодекс Российской Федерации.

Контроль условий труда на предприятиях осуществляют специально созданные службы охраны труда совместно с комитетом профсоюзов. Данный контроль заключается в проверке состояния производственных условий для работающих, выявлении отклонений от требований безопасности, законодательства о труде, стандартов, правил и норм охраны труда, постановлений, директивных документов, а также проверке выполнения службами, подразделениями и отдельными группами своих обязанностей в области охраны труда. Этот контроль осуществляют должностные лица и специалисты, утвержденные приказом по административному подразделению. Ответственность за безопасность труда в первую очередь несет руководитель.

Службы охраны труда совместно с комитетами профсоюзов разрабатывают инструкции по безопасности труда для различных профессий с учетом специфики работы, а также проводят инструктажи и обучение всех работающих правилам безопасной работы.

6.4 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.

Организация рабочего места заключается в обеспечении условий, исключающих утомляемость и профессиональные заболевания и выборе необходимой технической базы для обеспечения этих условий.

Помещение, в котором расположено рабочее место должно иметь большие и чистые окна. Большие окна дают необходимую освещенность на рабочем месте с естественным дневным светом. Следует предусмотреть на окнах светлые шторы, например, из белого или голубого шелка, которые позволяют создать белый рассеянный свет в яркий солнечный день и

предотвратить попадание прямых солнечных лучей на рабочее место и в лицо сотрудника, которые раздражающе действуют на последнего.

Для обеспечения благоприятных условий микроклимата помещение должно быть оборудовано системой вентиляции

Режим труда и отдыха предусматривает соблюдение определенной длительности непрерывной работы на ПК и перерывов, регламентированных с учетом продолжительности рабочей смены, видов и категории трудовой деятельности.

Трудовая деятельность в лаборатории относится к категории В – творческая работа в режиме диалога с ПК, третья категория тяжести.

Количество и длительность регламентированных перерывов, их распределение в течение рабочей смены устанавливается в зависимости от категории работ на ПК и продолжительности рабочей смены. Так как рабочая смена составляет около 8 часов, то перерывы происходят через 1,5– 2,0 часа от начала рабочей смены и через 1,5–2,0 часа после обеденного перерыва продолжительностью 20 минут каждый.

Планировка рабочего места должна предусматривать:

- а) возможность выполнения рациональных движений, необходимых для осуществления трудового процесса;
- б) наиболее экономное использование производственных площадей
- в) рациональное расположение приборов и оснастки в соответствии с последовательностью технологического процесса, возможность экономных движений оператора для осуществления трудового процесса и его безопасность.

Заключение

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы был спроектирован и смоделирован лабораторный стенд по аналоговой электронике. Моделирование проводилось в программной среде Multisim и в результате него была проверена работоспособность схем включения, которые могут применяться в качестве лабораторных работ при эксплуатации стенда.

Экономическое исследование показало теоретическую конкурентоспособность разработки на рынке по причине простоты изготовления, малых габаритов и низкой стоимости.